

[103] プレキャスト鉄筋コンクリート造耐震壁に関する実験的研究

正会員 東 洋一 (東京都立大学 工学部)
 正会員○磯 健一 (東京都立大学 工学部)
 飽津 福秀 (長谷川工務店技術開発部)
 榎田 聡太郎 (長谷川工務店技術開発部)

1. 序

著者らは、プレキャスト鉄筋コンクリート造耐震壁の開発を目的として、耐震壁の接合部のせん断実験を行い接合部のコッター効果、ループ状の補強筋のダボ効果及びせん断強度に関して検討した。本研究では、接合部実験で採用した接合方法によるプレキャスト鉄筋コンクリート造連層耐震壁の剛性、終局強度及び破壊性状に関して検討するものである。本報では、3層1スパンのプレキャスト耐震壁の水平加力実験及び実験結果の概要について述べる。

2. 実験計画

2・1 試験体

プレキャスト鉄筋コンクリート造耐震壁試験体の形状・寸法を図1に示し、図2にプレキャストパネルの配筋詳細を示し、図3にプレキャストパネル相互及び柱との接合部の詳細を示す。試験体は、5.8m × 12mスパンの鉄骨鉄筋コンクリート造集合住宅のはり間方向の耐震壁を対象とした1/2スケールの試験体である。プレキャストパネルは、図2に示すように、はりと一緒に形成されており、各層に2枚のパネルが鉄骨鉄筋コンクリート造柱内に組み込まれ、ウェットジョイントにより接合されている。パネル間の鉛直接合部及び水平接合部では、図3(a), (b)に示すように、充てんコンクリートによりシアコッターが形成され、コッター内で各パネルから突出したループ状の補強筋が重り合っている。また、パネルと柱との接合部では、図3(c), (d)に示すように、パネル内に埋込まれたアンカーボルト(D13)にさし筋をネジ接合した。はり相互及びはりと柱の接合部では、図3(e)に示すように、パネル端部の鉄骨をボルト接合後、コンクリートを打設した。

プレキャストパネルは、コンクリート打設後1日間蒸気養生した後、約2週間空気養生を施した。柱とプレキャストパネルの建方及びコンクリート打設は各層ごとに行い、各層の養生期間は、4～7日間とした。

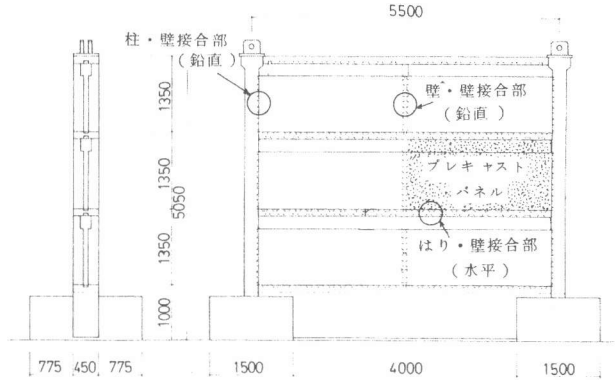


図1. 試験体図

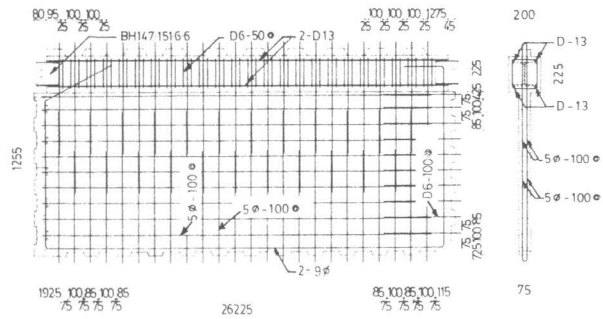


図2. プレキャストパネル配筋図

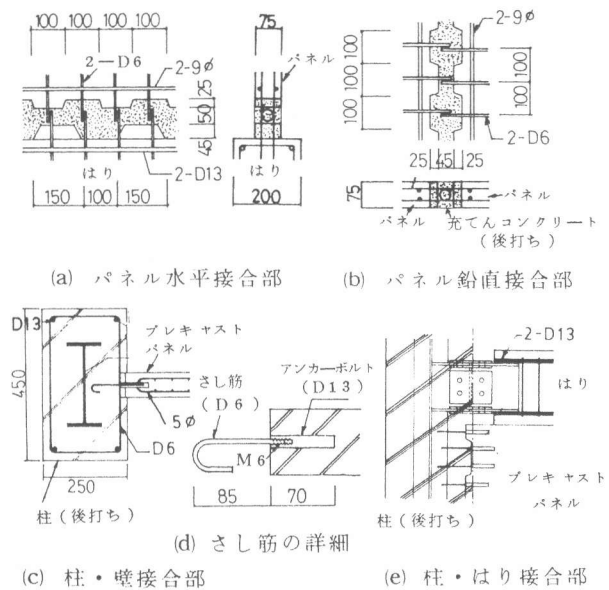


図3. 接合部の詳細図

表1に各部材の断面寸法を示し、表2、表3に使用したコンクリート、鋼材の力学的性質について示す。

2・2 試験方法 図4に、試験装置を示す。試験体は、基礎部分を介してPC鋼棒により反力床に堅結されている。先ず、門型反力フレームに取り付けた150 ton オイルジャッキにより、軸方向力を左右の柱に均等に加えた。軸方向力は、1層の柱断面軸方向応力度 $\sigma = 44.4 \text{ kg/cm}^2$ に相当し、水平荷重の繰返し载荷中一定となるように調節した。水平荷重は、反力壁に取り付けた250 ton オイルジャッキにより加力ばりを介して、付加モーメントを生じないようにピン接合された左右の柱頭部に加えた。加力方法は、11階建プレキャスト耐震壁の2次設計に対する最下層の実施設計せん断力 Q_{un} (試験体では、110 tonに対応する)までは、荷重制御による正負繰返し载荷とし、以後は Q_{un} 時の変形の整数倍(2, 3, 4 倍・・・)の変形にて、3回の繰返し载荷とした。

2・3 測定方法 各層の水平・鉛直変位、パネル部のせん断変形、パネル間及びパネルと柱との接合部の相対変位を変位計にて測定し、接合部の補強筋、壁筋、柱主筋及びパネル部のコンクリート表面の歪をW. S. G. により測定した。

3. 実験結果

3・1 破壊性状 図5に7サイクル ($P = \pm 60 \text{ ton}$) 時のひび割れ状況を、図6に新耐震設計法の2次設計荷重時のひび割れ状況を、及び図7に最終破壊状況を示す。図5に示すように、 $P = +40 \text{ ton}$ ($\tau \div 9.7 \text{ kg/cm}^2$)、 $P = -50 \text{ ton}$ ($\tau \div 12.1 \text{ kg/cm}^2$) でプレキャストパネルの鉛直接合部に沿って小さな斜めひび割れが発生した。このひび割れは、接合部のせん断実験と同様に、コッターの隅角部より発生した。

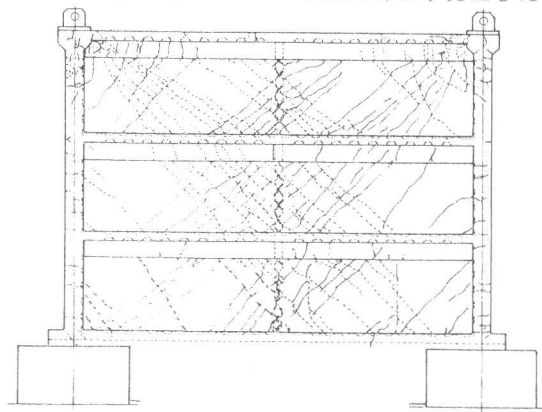


図6. ひび割れ状況 ($P = \pm 110 \text{ ton}$)

表1. 部材断面 表2. コンクリートの材料特性

部 位	断 面	コンクリートの材料特性			
		圧縮強度 kg/cm ²	割裂強度 kg/cm ²	ヤング係数× 10 ³ kg/cm ²	
柱	断面	45×25	3552	3236	1.96
	鉄骨	BH-250・100・6・12	2581	2054	1.86
	主筋	4-D13, Pt=0.023	2334	2050	1.63
	HOOP	D6-37.5@, Pw=0.0083	2376	1549	1.59

表3. 鋼材の材料特性

降伏強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	
	5φ	9φ
5φ	5717	6017
9φ	3386	4636
D6	3948	5031
D13	3533	5155
E-6	3744	4742
E-12	3800	5271

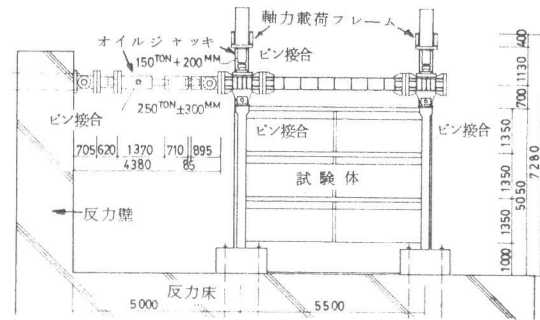


図4. 試験装置図

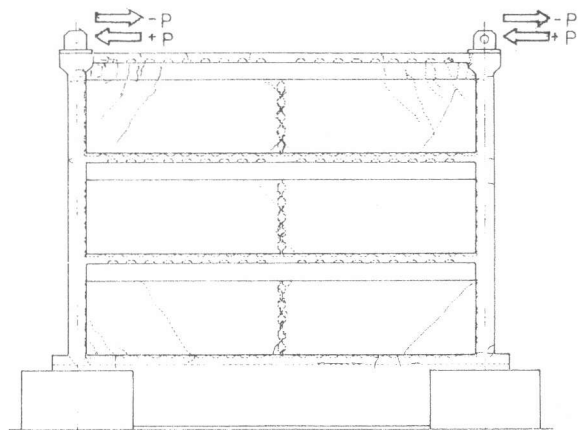


図5. ひび割れ状況 ($P = \pm 60 \text{ ton}$)

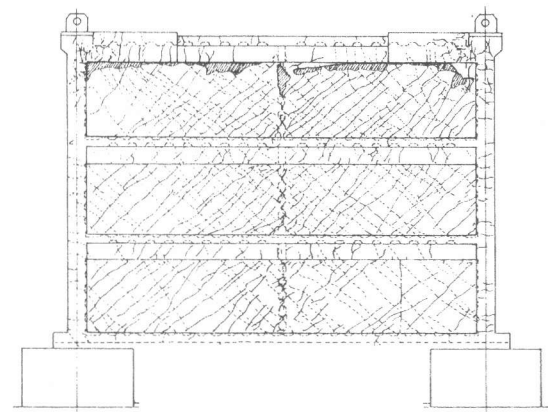


図7. 最終破壊状況

さらに、 $P = +65 \text{ ton}$ ($\tau \approx 15.8 \text{ kg/cm}^2$)、 $P = -70 \text{ ton}$ ($\tau \approx 17.0 \text{ kg/cm}^2$) でプレキャストパネルに斜めせん断ひび割れが発生し、その後の荷重の増加に伴い、試験体全体の対角線方向に多数の斜めひび割れが発生し、はりを貫通し試験体全体に広がった。しかし、プレキャストパネルの鉛直接合部のひび割れの進展は見られなかった。柱の曲げひび割れは、 $P = +70 \text{ ton}$ ($P = -65 \text{ ton}$) で柱脚部に発生したが、最終破壊に至るまであまりひび割れ幅は広がらなかった。 $P = +185 \text{ ton}$ ($P = -192 \text{ ton}$) で最大耐力に達し3層部のプレキャストパネルと柱との隅角部が圧縮破壊し、耐力が低下した。さらに図7に示すように、3層部のはりと耐震壁との付け根がせん断スリップ破壊をし、コンクリートがはく離し壁筋が座屈した。最終破壊時に、3層プレキャストパネルの鉛直接合部の充てんコンクリートがはく離した。

3.2 荷重-水平変位曲線 各層の荷重-水平変位曲線を図8~図10に、各繰返しサイクルの最大荷重時の変位モードを図11に示す。最大荷重は、正加力では $P = +185 \text{ ton}$ で最上層の変位 $\delta = 15 \text{ mm}$ ($R = 3.71 \times 10^{-3} \text{ rad}$)、負加力では $P = -192 \text{ ton}$ で $\delta = 23.7 \text{ mm}$ ($R = 5.86 \times 10^{-3} \text{ rad}$) であり、荷重-水平変位曲線は、逆S字の履歴曲線を示している。最終破壊が最上層のパネル隅角部の圧縮破壊で決まっているため、1層、2層の変形は最大耐力後も急激な増加は見られず、図11の変位モード図から、最終破壊時に、最上層の層間変位の急激な増加が見られ、正加力の場合には、右側柱の変形が大きく、負加力の場合には左側柱の変形が大きい。

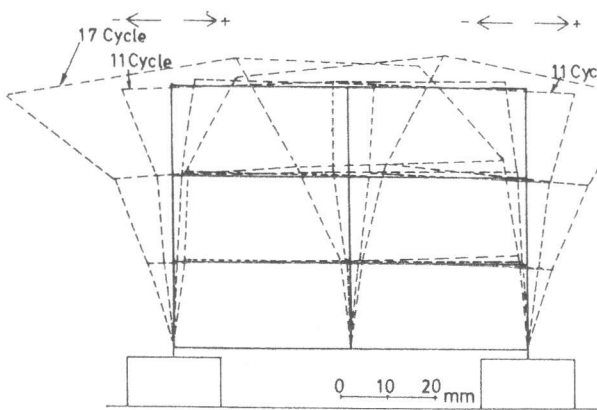


図11. 変位モード図

表4. 実験値と計算値との比較

層	初期剛性 (t/mm)		実/計	ひび割れ状況	実験値		計算値 (t)	実/計
	実験値	計算値			荷重 (t)	変形 (mm)		
3	75.5	68.6	1.10	コッター付着切れ ひび割れ	4.0 -5.0	0.93 -0.67	---	---
2	90.0	101.3	0.90	P C 板 斜めせん断 ひび割れ	6.5 -7.0	1.63 -1.07	120.17	0.54 0.58
1	200.0	213.2	0.94	柱 曲げひび割れ	7.0 -6.5	1.93 -0.87	---	---
-	-	-	-	P C 板 終局 せん断強度	185 -192	15.03 -23.73	255.35	0.72 0.75 1.06 1.10

(計算式) 文3)

1) P C 板せん断ひび割れ強度計算値

$$cQsc_1 = t \times l e \sqrt{c\sigma_1^2 + \sigma_0 \cdot c\sigma_1} / Smax \quad \text{--- (1)}$$

le : 鉄筋の影響を考慮した断面2次モーメント (cm^4) $\sigma_0 = 16.2 \text{ kg/cm}^2$

Smax: 鉄筋の影響を考慮した断面1次モーメントの最大値 (cm^3)

σ_0 : 壁部分の平均軸方向応力度 (kg/cm^2)

t: 壁厚 (cm) c σ_1 : コンクリートの引張強度 (kg/cm^2)

2) 終局せん断強度計算値 文3)

$$cQwsu = \left\{ \frac{0.068 Pte^{0.23}(Fc+180)}{\sqrt{M/Qd+0.12}} + 2.7\sqrt{\sigma_{wh} Pwh} + 0.1\sigma_0 \right\} b \cdot j \quad \text{--- (2)}$$

be : I型断面と長さ及び断面積が等しい短形断面の幅 (cm)

Pte : $100 \times a \times t / be \cdot d$

Pwh : beを厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比

σ_{wh} : せん断補強筋の降伏点強度 (kg/cm^2)

σ_0 : 全断面に対する平均軸方向応力度 (kg/cm^2) $\sigma_0 = 16.2 \text{ kg/cm}^2$

3) 終局せん断強度計算値

$$hQu = \sum cQu + wQu$$

$$cQu = \left\{ \frac{0.053 Pt^{0.23}(Fc+180)}{\sqrt{M/Qd+0.12}} + 2.7\sqrt{\sigma_{wh} Pwh} + 0.1\sigma_0 \right\} b \cdot j \quad \text{--- (3)}$$

$$wQu = 0.15 Fc \cdot t \cdot lc + 1/\sqrt{3} \times Psh \cdot \sigma_{sh} \cdot t \quad \text{--- (文1)}$$

cQu : 柱の終局せん断強度

wQu : 壁の水平接合部終局せん断強度

σ : 柱断面軸方向応力 $\sigma = 44.4 \text{ kg/cm}^2$

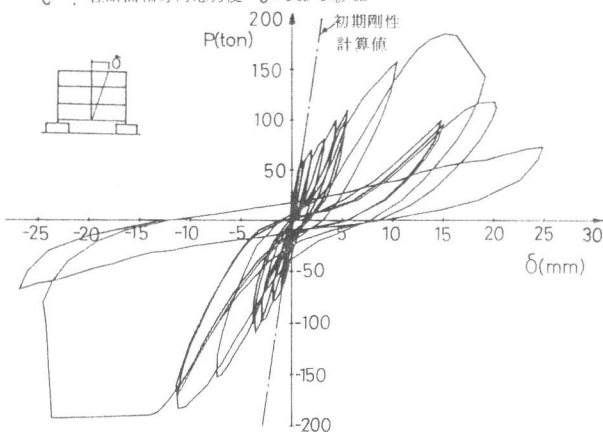


図8. 荷重・水平変位曲線 (R階)

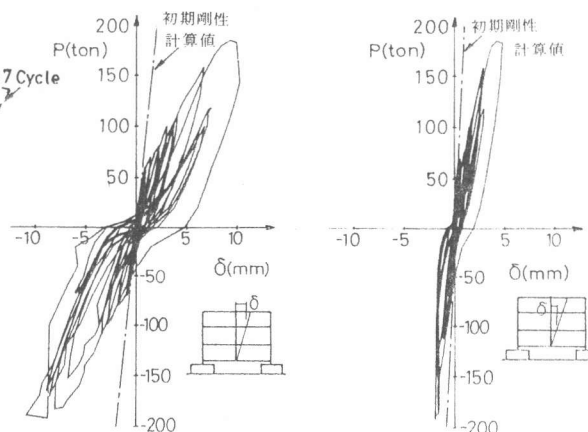


図9. 荷重・水平変位曲線 (3階) 図10. (2階)

3. 3 接合部の荷重・相対変位曲線 図12, 13に、プレキャストパネルの水平接合部及び鉛直接合部の荷重・相対変位曲線を示す。水平接合部の相対変位はパネル中央部が左右柱側部よりも大きく、また上層が下層より大きい値を示した。鉛直接合部の相対変位も、水平接合部と同様であった。

3. 4 補強筋の歪特性 プレキャストパネルの鉛直接合部及び水平接合部の補強筋の荷重・歪曲線を図14, 15に示す。水平接合部の補強筋の歪は、正・負荷重とも正の歪を生じ、直接合部では正負の歪を生じている。

3. 5 プレキャストパネルの応力分布 図6に、プレキャストパネルに貼付した歪ゲージの測定結果をロゼット解析して得た主応力とその方向を示す。図より、加力点付近での応力のみだれ、圧縮主応力の流れが中央に集中している。

4 実験結果の検討

4. 1 初期剛性 図8~10及び表4に試験体が一体であると仮定し、曲げ変形、せん断変形のみを考慮し求めた初期剛性の計算値を示したが、実験値と計算値は比較的近似した。

4. 2 プレキャスト耐震壁のせん断強度 表4に、プレキャストパネルのせん断ひび割れ強度及びせん断終局強度の実験値と計算値を示すが、ひび割れ強度の実験値は、一体打耐震壁と考えて得た計算値より低く、実/計は0.56であった。これは、せん断ひび割れが発生する以前に、鉛直接合部にひび割れが生じ、パネルの応力状態が変化したためと思われる。終局強度の実験値は、鉄骨を引張側鉄筋に加算し(2)式より求めた計算値より低く、実/計は0.74であり、柱とパネルの水平接合部のせん断強度の累加とした(3)式より求めた計算値より高く、実/計は1.08であり、実験値と計算値は一致しなかった。これは、試験体のシアスパン比が小さく、実験では加力点付近の破壊が著しく、水平接合部のせん断破壊で終局に至らなかったためと思われる。

5 まとめ プレキャスト連層耐震壁の剛性、強度及び破壊性状について検討したが、実験初期には鉛直接合部のひび割れ発生がみられなかった。最上層のプレキャストパネルの圧縮せん断破壊により終局状態に至ったため、耐震壁のせん断強度に対する既往の計算式では実験値を表現できず、今後、接合部の影響及び破壊性状を考慮し検討していく。

謝辞：本実験の実施に当り、東京都立大学東研究室及び(株)長谷川工務店諸氏の御協力に深く感謝致します。

- 参考文献 1) 磯, 東, 沼本「R-PC耐震壁接合部のせん断挙動に関する研究」, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981・6
 2) 東, 遠藤, 磯「プレキャスト鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断挙動に関する研究」, 日本建築学会大会講演梗概集, 1981・9
 3) 広沢雅也「既往の鉄筋コンクリート造耐震壁に関する実験資料とその解析」, 建築研究資料66, 1975

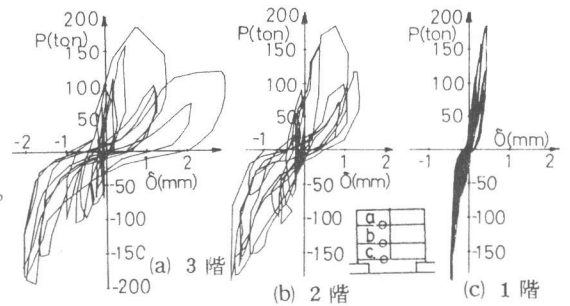


図12. 荷重・相対変位曲線(水平接合部)

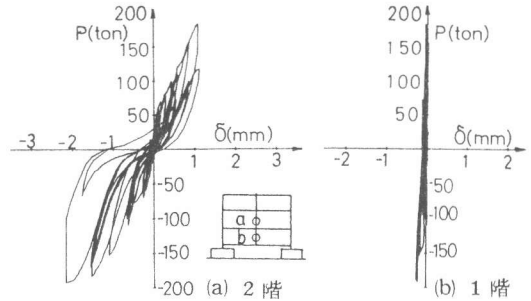


図13. 荷重・相対変位曲線(鉛直接合部)

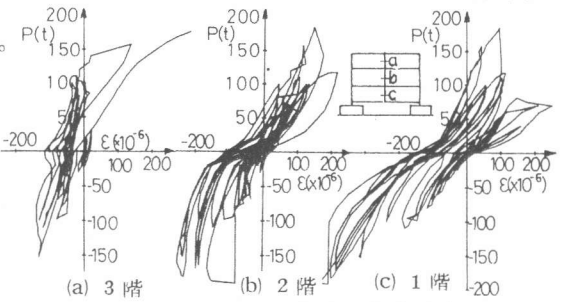


図14. 荷重・歪曲線(鉛直接合部)

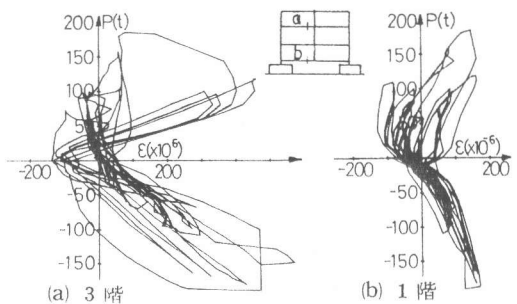


図15. 荷重・歪曲線(水平接合部)

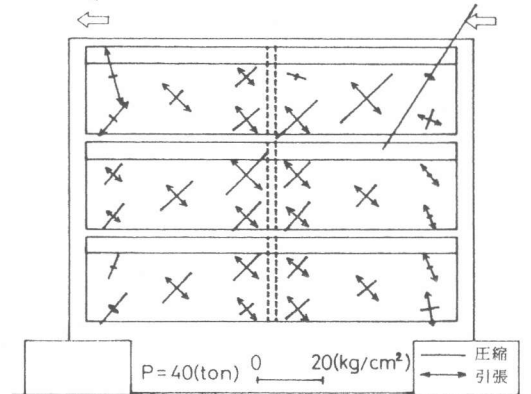


図16. 主応力図